

Holz-Beton-Verbünde mit konduktiv erwärmter Schnellklebetechnik

G. Wisner, E. Stammen, K. Dilger

Institut für Füge- und Schweißtechnik der Technischen Universität Braunschweig

g.wisner@tu-braunschweig.de

A. Ginz, W. Seim

Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau der Universität Kassel

aginz@uni-kassel.de

M. Mérono, C. Link

Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig

malte.merono@wki.fraunhofer.de

Abstract

Innovationen im Bauwesen zielen häufig auf Kostenreduktion durch Materialeinsparung mit neuen Materialkombinationen und schnellerem Baufortschritt durch hohen Vorfertigungsgrad. Weiterhin kommen dem zunehmenden Wunsch nach Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen insbesondere Holz-basierte Bauweisen entgegen, die schon seit langem im Fertighausbau für kleinere Gebäude wie 1- und 2-Familienhäuser am Markt verfügbar sind. Da reine Holzbauweisen jedoch für größere Gebäude auf verschiedene Hindernisse stoßen, sind sinnvolle Materialkombinationen mit etablierten Baustoffen des Hochbaus eine Lösung. Holz-Beton-Verbünde können in häufig verwendeten Bauelement-Bereichen wie Zwischendecken oder Dächern ihre Eigenschaften günstig kombinieren und werden bisher üblicherweise entweder mit zahlreichen mechanischen Verbindungsmitteln (lange Schrauben) oder durch Verguss von Frischbeton auf Holz realisiert. Eine neuartige Schnellklebetechnik (erstmalig untersucht für den Fertighausbau) vermeidet verschiedene Nachteile und ermöglicht Kleben im Hochbau mit beheizter Klebefuge. Strukturelle Klebstoffe können so schneller aushärten und ermöglichen einen beschleunigten Baufortschritt im Vergleich zu konventionell kalthärtenden Klebungen. Die Beheizung der Klebefuge wird dabei durch einen dünnen elektrisch leitfähigen Klebebandträger realisiert, der als Strom durchflossener linearer Widerstand kontrolliert erwärmt werden kann. In einem laufenden Forschungsprojekt

der Industriellen Gemeinschafts-Forschung (IGF) wird diese Schnellbautechnik für den Einsatz auf der Baustelle von Hochbauten untersucht. Der Beitrag stellt die klebtechnischen Herausforderungen an verschiedene Konstruktionsklebstoffe speziell an den Grenzflächen der sehr unterschiedlichen Werkstoffe wie Beton, Nadel- oder Laubholz sowie metallischen Klebebandträgern dar.

1 Holz-Beton-Verbünde

1.1 HBV - verschiedene Herstellverfahren

Holz-Beton-Verbund (HBV) Konstruktionen kombinieren die einzelnen Baustoffe (z. B. als Deckenbauteile) in hervorragender Weise, da sie verbesserte Eigenschaften beim Schallschutz und eine erhöhte Steifigkeit und Tragfähigkeit bei geringer Bauteilhöhe [1] aufweisen. Des Weiteren übernimmt der Beton neben seiner Tragfunktion auch den baukonstruktiven Schutz des Holzes und wirkt in Zusammenhang mit der Gebäudeklimatisierung als Speichermasse. Die Wahl von Holz stärkt weiterhin den zunehmenden Wunsch nach der Verwendung nachwachsender Rohstoffe im Baubereich, die auch häufig sehr gut regional beschafft werden können. Durch die wachsende Verfügbarkeit auch von Laubhölzern für den Baubereich kann im Vergleich zu etablierten Nadelhölzern eine noch höhere Verbundtragwirkung in der Kombination erzielt werden, die weitere Optimierungsmöglichkeiten erschließt. So werden Nadelhölzer als Brett-schichtholz (BSH) beispielsweise häufig in den Festigkeitsklassen GL24 bis GL36 eingesetzt, ein vergleichbares Buchen-Furnierschichtholz erzielt GL70. Damit kann bei gleicher Verbundtragwirkung der Laubholzträger im Querschnitt reduziert werden.

Die Verbindung von Holz und Beton für biegebeanspruchte Bauteile ist im Bauwesen nicht neu, hier dominiert bisher die Ortbetonbauweise durch direkten Verguss auf zuvor im Holz eingebrachte Verankerungselemente und die Methode, über Formschluss in Nuten oder Kerben die Verbindung auf der Baustelle herzustellen. Wird der HBV durch Gießen des Betons vor Ort erstellt, besteht jedoch die Gefahr, dass Feuchtigkeit in angrenzende Bauteile eindringt. Besonders kritisch ist dabei auch das Schwinden des Betons zu sehen, welches zu Spannungen und zu Schlupf im Bereich der Nuten führen kann. Mechanische Verbindungsmittel in getrennt hergestellten Fertigteilen aus Beton und Holz vermeiden diese Problematik, sind jedoch mit hohen Kosten durch die große Anzahl der Schrauben sowie den hohen Aufwand bei den Montagearbeiten verbunden, zudem gelten die Schraubverbindungen als relativ schubweich gegenüber den Verfahren mit Betonverguss auf der Baustelle [2, 3].

1.2 HBV - verschiedene Herstellverfahren

Der geklebte HBV wurde an der Universität Kassel in den vergangenen Jahren umfassend untersucht [4, 5]. Dabei wurden kalthärtende Klebstoffe für das Fügen in einem Fertigteilwerk eingesetzt, die sich aber grundsätzlich auch auf einer Baustelle einsetzen lassen, wenn die Witterungsbedingungen es zulassen. Kalthärtende Klebstoffe, zumeist auf Epoxidharz-Basis, benötigen jedoch eine lange Zeit bis zum Erreichen einer Mindest-Handhabungsfestigkeit und schränken den Baufortschritt daher unzulässig ein. Vergleichende Untersuchungen zwischen Nadel- und Laubholz erbrachten um 20 % gesteigerte Festigkeiten bei Laubholz [6]. Analoge kalthärtende Klebstoffe wurden auch beim Kleben von Bauteilen aus hochfestem Beton von Schmidt et al. [7, 8] sowie Zilch und Mühlbauer [9] eingesetzt. Ein wichtiges Fazit war, dass etablierte 2-komponentige (2K) Epoxidharze kaltausgehärtet eine unerwartet hohe Kriechneigung bei hohen Umgebungstemperaturen im Sommer aufwiesen und damit nicht für beliebige konstruktive Fugen in Bauwerken geeignet sind. Die Ursache dafür liegt im unzureichend hoch ausgebildeten Glasübergangsbereich des vernetzten Klebstoffs, der sich mit dem Gebrauchsbereich stark überschneidet. Werden speziell hierfür formulierte Klebstoffe (1- wie 2-komponentig) bei deutlich erhöhten Temperaturen (z. B. zwischen 100 °C und 180 °C) ausgehärtet, stellen sich deutlich erhöhte Glasübergangsbereiche ein, die sich kaum oder nicht mehr mit dem Gebrauchstemperaturbereich überschneiden und damit strukturell fester ausfallen.

Heißklebetechnik für Holz-Beton-Verbünde

Eine neuartige Schnellklebetechnik [10] vermeidet diese Nachteile und ermöglicht strukturelles Kleben im Bauwesen mit beheizter Klebfuge zur schnellen Aktivierung von besonders leistungsfähigen Klebstoffen für feste und beständige Klebverbindungen und stark beschleunigtem Baufortschritt im Vergleich zu konventionell kalthärtenden Klebungen. Die Beheizung der Klebfuge wird dabei durch einen dünnen elektrisch leitfähigen Klebebandträger ermöglicht, siehe *Abb. 1*.

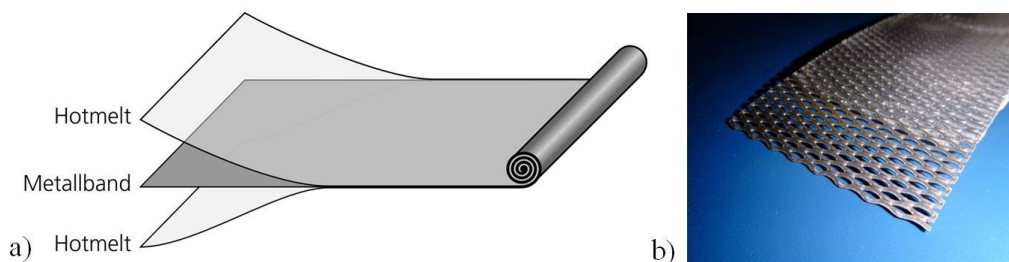


Abb. 1: Elektrisch konduktiv beheizbare Klebebänder: a), prinzipieller Aufbau b) Hotmelt-klebstoff auf Streckmetallband

Der leitfähige Klebebandträger wird mit einer Stromquelle - analog einem elektrischen Schweißgerät - über den spezifischen elektrischen Widerstand schnell und gezielt aufgeheizt. Damit ist der Klebprozess weitgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur und kann sowohl in einem Fertigteilwerk als auch auf einer Baustelle ausgeführt werden. Als Klebstoffe werden nachvernetzbar Schmelzklebstoffe, sog. Hotmelts verwendet. Diese können so formuliert werden, dass sie bei erhöhter Temperatur ausreichend niedrigviskos sind, um die Oberfläche zu benetzen, und dann zu einem Duomer mit höherem Glasübergangsbereich vernetzen. Das noch relativ neuartige Klebekonzept wurde zunächst für den Einsatz im Holztafelbau für reine Holz-Holz-Klebungen konzipiert und entwickelt [11] und wird derzeit in einem laufenden Vorhaben der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) für das Kleben vor Ort auf der Baustelle von HBV in Hochbauten weiterentwickelt. *Abbildung 2* zeigt die prinzipielle Anordnung in einem leicht zu systematisierenden Baukonzept, wo dünne Betonplatten an den Rändern auf Brettschicht- oder Furnierschichtholzträgern aufliegen und sich einfache Klebfugen-Geometrien mit einer Klebebandapplikation realisieren lassen.

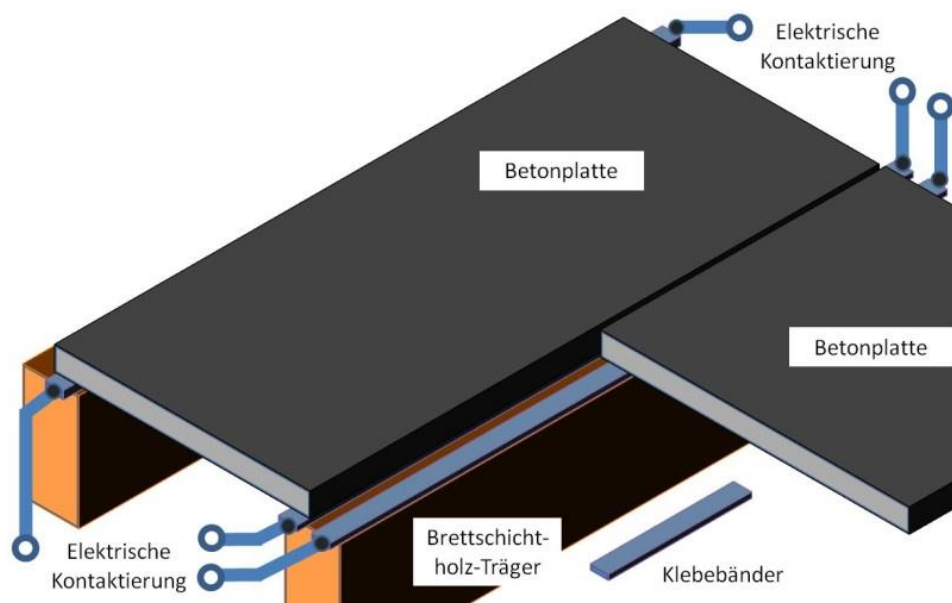


Abb. 2: Anordnung der elektrisch beheizbaren Klebebänder in einer Holz-Beton-Verbunddecke aus Fertigteilen

Damit können in verschiedenen Fertigteilwerken vorgefertigte Bauteile aus Stahlbeton und Elemente aus Holz auf der Baustelle in einem sehr schnellen Baufortschritt verbunden werden. Die für diesen Anwendungsfall erforderlichen Steifigkeiten, Festigkeiten und Beständigkeiten der Verbünde werden im Vorhaben detailliert untersucht.

2 Methodischer Ansatz und Experimente zur Materialauswahl

2.1 Klebstoffscreening

Nach der Auswahl geeigneter Baustoffe (Nadel- und Laubholz, Beton typischer Festigkeitsklassen in Fertigteilwerken mit verschiedenen Oberflächenzuständen) und der Auswahl von fein gelochten Streckmetallbändern als metallisch leitfähige Trägermaterialien für die Klebebänder wurde mit einer relativ breit angelegten Klebstoffauswahl an Konstruktionsklebstoffen (Epoxidharze, Polyurethane, Polyamide und Phenolharze) die Eignung der Klebstoffklassen für die Schnellerwärmung und ggf. auch Vorbeschichtung als Klebeband-Halbzeug untersucht. Als Referenz hinsichtlich Festigkeit und Bruchverhalten dienten konventionell durchgeführte Referenzklebungen mit im Holzbau zugelassenen 2K-Klebstoffen. Ein Klebstoffscreening diente zur Auswahl der Materialien mit den besten Eigenschaftsspektren. Für die Experimente wurden relativ kurze Streifen (270 mm) von Beton und Holz auf einer schmalen Kante von 25 mm Breite geklebt. Der gefügte Probekörper hatte eine Gesamthöhe von ca. 100 mm. Aus den geklebten Probenstreifen wurden je drei Proben mit quadratischer Klebfläche von 25 mm x 25 mm herausgeschnitten. Die entnommenen Proben wurden dann in einer Blockscher-Prüfeinrichtung in der Ebene der Klebfuge durch Scherung zerstörend geprüft gemäß DIN EN 14080, Anhang D [12].

2.2 Ergebnisse

Es ist literaturbekannt [11], dass die konduktive Heißklebetechnik auf Nadel- und Laubholz sehr gut funktioniert, was in unseren Versuchen nachvollzogen werden konnte. Dagegen bringen die Betonsubstrate in mehrfacher Hinsicht neue Herausforderungen ein. Die vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit transportiert die vom Klebebandträger eingebrachte Wärme deutlich stärker in die Betonmasse, welche als starke Wärmesenke wirkt. Dem stärkeren elektrischen Heizen zur Kompensation stehen jedoch verschiedene physikalische Effekte entgegen, die in Summe bei inhomogenen Randbedingungen eine dynamische Hotspot-Bildung hervorrufen. Dabei konzentriert sich der Stromfluss auf einer sehr kleinen Fläche im Metallband und führt dort zu einem starken Temperaturanstieg, während die umgebenden Flächen keine Temperaturerhöhung erfahren. Die Temperaturen im Hotspot erreichen schnell mehrere hundert Grad Celsius und führen zum lokalen Verkohlen des Holzes, was abhängig von der Holzart schon bei etwa 200 °C beginnt, thermisch zu degenerieren.

Allgemein entstehen Betonoberflächen durch das Erstarren in Schalungen, deren Oberflächen abgeformt werden und oft als schalungsglatt bezeichnet werden. Mehrere Untersuchungen zum Kleben von Beton zeigten, dass Klebungen auf den schalungsglatten Oberflächen häufig geringere Klebfestigkeiten erzielten, als wenn man zunächst die

schalungsglatte Oberfläche durch Sandstrahlen, Fräsen oder Schleifen geringfügig abträgt und den Kernbeton sowie den Zuschlag (Gesteinskörnung, Sand) freilegt, um darauf anzubinden [8]. Mit solchen Oberflächenvorbehandlungen geht zumeist eine stärkere Aufrauung einher, die spaltfüllende Klebstoffe erfordert und für die konduktive Klebebandtechnik ungünstige Randbedingungen, wie inhomogene Pressung mit Hot-spotbildung, hervorruft. Damit haben die Oberflächenzustände des Betons einen relativ großen Einfluss auf die Verbundeigenschaften des geklebten HBVs.

Beispielhaft kann die erzielte Klebfestigkeit von einem vorbeschichtbaren Klebstoff gegenüber dem Referenzklebstoff auf Fichte sowie auf Beton mit den Oberflächenzuständen „sandgestrahlt“, „schalungsglatt Stahlschalung“ und „schalungsglatt kunststoffbeschichtete Schalungen“ angeführt werden. Hier zeigt sich, dass die Heißklebung signifikante Schwächen auf den rauen sandgestrahlten Betonoberflächen aufweist. Schalungsglatte Beton-Oberflächen erzielen bessere Festigkeiten, speziell kunststoffbeschichtete Holzwerkstoffplatten (Span- und Sperrholzplatten) bilden eine ebene feinraue Betonoberfläche aus und geben keine Trennstoffe ab (vgl. *Abb. 3*). Als Referenz in diesem Projekt dient ein bauaufsichtlich zugelassener 2K-Epoxidharzklebstoff (2K-EP). Dieser wurde nach Herstellerangaben kalt verarbeitet. Klebungen auf Fichte und den gleichen Betonoberflächenkombinationen zeigen in *Abb. 4* ein deutlich erhöhtes Festigkeitsniveau bei Blockscherterests und typischem Versagen im Beton.

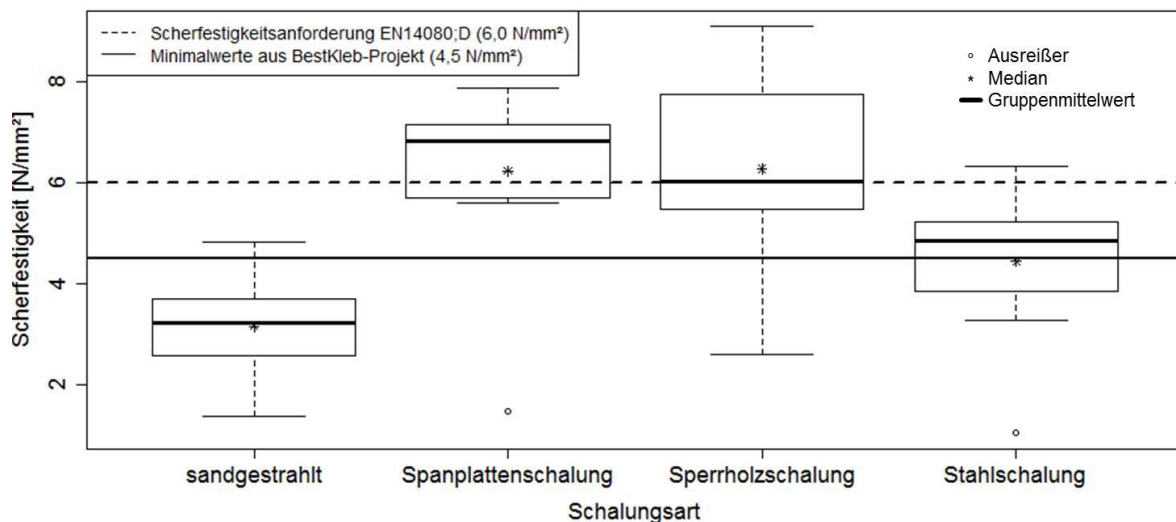


Abb. 3: Vergleich Blockscherfestigkeiten eines Co-Polyamid Schmelzklebstoffs heiß gehärtet bei 180 °C über 300 s auf Fichte und verschiedenen Betonoberflächen

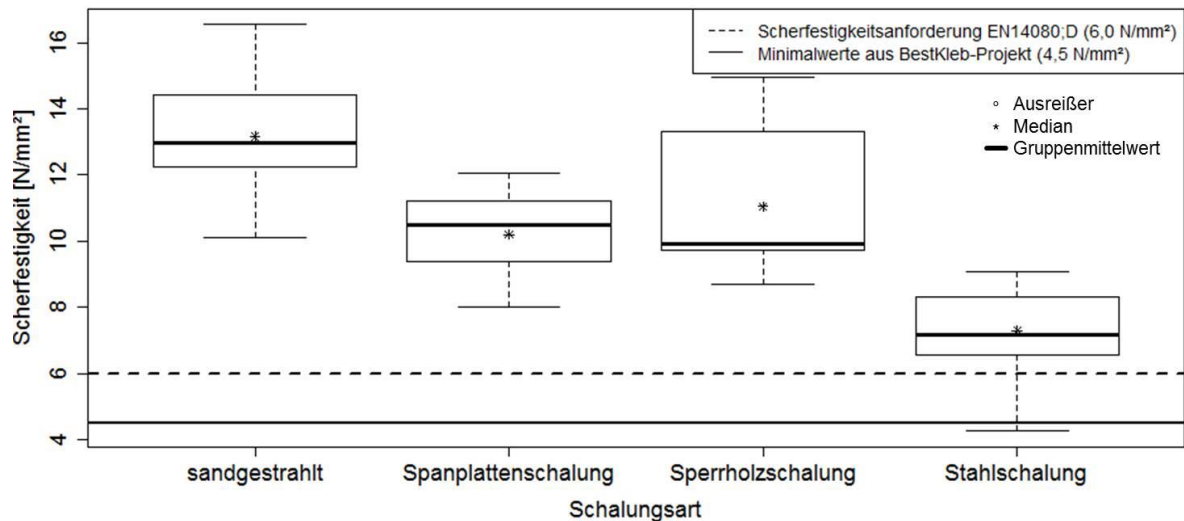


Abb. 4: Vergleich Blockscherfestigkeiten eines (Holz-) bauaufsichtlich zugelassenen 2K-Epoxydharzklebstoffs kalt gehärtet auf Fichte und verschiedenen Betonoberflächen

Im Klebstoffscreening zeigte sich auch, dass sich nur wenige Klebstoffklassen auf das Streckmetall vorbeschichten lassen und dabei lagerstabil als Halbzeug bereitgestellt werden können. Diese Klebstoffe sind typische Schmelzklebstoffe, die zur Festigkeitssteigerung eine reaktive Komponente enthalten. Der häufig genutzte reaktive Effekt der Nachvernetzung durch eindiffundierende Feuchtigkeit aus der Umgebung bei Polyurethan-basierten (PUR) Schmelzklebstoffen konnte nicht wirksam genutzt werden. Reaktionsklebstoffe als 1K- oder 2K-Material auf PUR- oder EP-Basis erreichten gute bis zufriedenstellende Klebfestigkeiten im HBV, konnten jedoch praktisch nicht auf die feingelochten metallischen Bänder aufgetragen werden.

Damit das hohe Potenzial der im Bauwesen etablierten Klebstoffe genutzt werden kann, wird bezüglich des Zeitpunkts der Klebstoffbeschichtung des metallischen Trägers eine zweigleisige Strategie im Projekt verfolgt. Zum einen wird die vorbeschichtbare Klebebandlösung mit einem vernetzbaren Co-Polyamid weiter optimiert. Zum anderen soll eine konventionelle Klebstoffapplikation ausgeführt werden, in die zusätzlich ein unbeschichtetes Streckmetall als Fugenheizung eingelegt wird.

Mit der zuletzt genannten Strategie wird im Vorhaben der Referenzklebstoff als 2K-EP auf zwei verschiedene Arten verarbeitet. Einmal als Referenz kalt geklebt ohne Streckmetall und zum andern wird der frisch angemischte Klebstoff auf das Holz appliziert, ein Streckmetallband eingebettet und das Beton-Substrat aufgelegt und fixiert. An die herausstehenden Enden des Streckmetalls - Abb. 5a) - wird eine Baustellen-Stromquelle

angeschlossen, die Klebfuge auf ca. 100 °C erhitzt und für 300 Sekunden auf Temperatur gehalten, siehe Abb. 5b).



Abb. 5: HBV mit elektrischer Widerstandsbeheizung im Klebeband: a) Buchen-HBV mit 15 mm herausstehenden Enden des Streckmetalls, b) Klebversuche an mittelgroßen T-Trägern (Kleblänge 1700 mm) Versuchsaufbau inkl. Anschluss an Baustellen-Stromquelle

Die Klebstoffarten und Verfahrensparameter sind in nachfolgender Tab. 1 gelistet.

Tab. 1: Ausgewählte Klebstoffe und Einsatz auf Klebeband

| Klebstoff | Zeitpunkt Beschichtung auf Metallträger | Klebstoff-auf-lage | Härtungs-temperatur | Aktive Heiz-zeit | Zeit bis Handha-bungsfest |
|------------------|--|---------------------------|---------------------|------------------|---------------------------|
| Referenz 2K-EP | Kaltkleben ohne Streckmet. | ca. 700 g/ m ² | RT | - | 2 Stunden |
| 2K-EP | Streckmetall in frischen Kleb-stoff betten | ca. 700 g/ m ² | 100–120 °C | 300 s | 800 s |
| Co-PA vernetzbar | Zeitlich entkop-pelte Vorbe-schichtung | ca. 800 g/m ² | 180 °C | 300 s | 800 s |

Nach der Auswahl geeigneter Klebstoffe und Substrate bzw. Substratoberflächen sowie der Optimierung der Verarbeitungstechnik sollen größere Probekörperserien präpariert und verschiedenen Beanspruchungen ausgesetzt werden, um Aussagen über die Kurz- und Langzeitbeständigkeit der HBV zu gewinnen. Dazu werden neben Blockscher- und

Biegeproben auch Druck-Schub-Prüfkörper mit Klebflächen von 300 mm x 50 mm (siehe Abb. 6) untersucht.



Abb. 6: Elektrisch konduktiv geklebter HBV-Probekörper mit 300 mm geklebter Länge für eine Druck-Schubprüfung nach Lagerung bei definierten Klimazyklen

3 Zusammenfassung und Ausblick

In einem anwendungsorientierten Projekt wird eine neue Methode zur Schnellklebung von Holz-Beton-Verbünden mit einer elektrisch beheizten Klebebandtechnik für den Hochbau erarbeitet. Dafür wurden geeignete Materialklassen (Nadel- und Laubholz, Standard- und höher feste Betone, Klebstoffe mit und ohne Vorbeschichtungsmöglichkeit auf Streckmetallbändern) ausgewählt. Mit Klebstoff vorbeschichtbare konduktiv beheizte Klebebänder erwiesen sich in [10, 11] bei reinen Holz-Holz-Klebungen als in vielerlei Hinsicht ausgewogene Verbindungsmethode (Klebfestigkeit, Verarbeitungsdauer, Handhabung), die Verbindung im HBV stellt höhere Anforderungen an solche Schmelzklebstoffe. Um die Leistungsfähigkeit von im Bauwesen etablierten Epoxidharz-Klebstoffen zu nutzen, kann auf die Vorbeschichtung des metallischen Trägers verzichtet werden, ein Streckmetall als Fugenheizung wird dann in den frisch auf dem Substrat applizierten Klebstoff gebettet und die Klebfuge kann ebenfalls beheizt werden. Diese Vorgehensweise erweitert die konventionelle Klebtechnik um eine beheizbare Klebfuge.

Weiterhin sind Untersuchungen von konventionell und heiß geklebten Probenserien zur Lagerung in definierten Klimaten geplant. Diese Langzeituntersuchungen sollen Verbundversuche in Anlehnung an DIN EN 408 umfassen und zunächst in einem Wechselklima mit geklebten Druck-Schub-Prüfkörpern durchgeführt und anschließend auf ihre Festigkeit untersucht werden. Vom Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau der

Universität Kassel wird auch das Langzeitverhalten durch Kriechen unter Last im Innenraum von größeren Bauteilen mit 6 m geklebter Länge untersucht werden. Damit werden Langzeiterkenntnisse über geklebte HBV auch im vollen Maßstab gewonnen.

Die neue Methode nutzt einen hohen Vorfertigungsgrad in Fertigteilwerken und hat das Potenzial, eine wirtschaftliche und besonders schnelle Bauweise im Hochbau zu werden. Das laufende Forschungsprojekt schafft das Basiswissen für den Entwurf und die Bemessung sowohl von konventionell geklebten als auch schnell geklebten Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen und stellt mit den Untersuchungen des Kurzzeit- und Langzeitverhaltens wichtige Daten für eine bauaufsichtliche Zulassung des Verfahrens in der Zukunft bereit.

Literatur

- [1] Kuhlmann U., Schänzlin J.: "A timber-concrete composite slab system for use in tall buildings". *Structural Engineering International*, 18 (2), p. 174–178, 2008.
- [2] Jorge, L. F.; Schänzlin, J.; Lopes, S.M.R.; Cruz, H.; Kuhlmann, U.: "Time-dependent behaviour of timber lightweight concrete composite floors". *Engineering Structures*, Volume 32, p. 3966–3973. 2010.
- [3] Fragiaco, M.; Balogh, J.; To, L.; Gutkowski, R.M.: "Three-Dimensional Modeling of Long-Term Structural Behaviour of Wood-Concrete Composite Beams". *Journal of Structural Engineering*, Volume 140, p. 216–223, 2014.
- [4] Eisenhut, L.: „Geklebter Verbund aus Holz und hochfestem Beton – Untersuchungen zum Langzeitverhalten“, Dissertation Universität Kassel, 2015.
- [5] Seim, W.; Eisenhut, L.; Kühlborn, S.; Ulrich, H.: „Neuartige geklebte Bauteile aus Holz und Beton – Untersuchungen zur Verbundfestigkeit bei thermisch-hygri-scher Beanspruchung der Klebfuge“. Abschlussbericht zum TP 7 des IGF-Vorhabens 17274 „Beständigkeit von Klebungen verstehen und berechnen (Best-Kleb)“, Universität Kassel, 2015.
- [6] Schäfers, M.; Seim, W.: „Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen“. *Bautechnik*, Heft 3, 2011, p 165–176.
- [7] Schmidt, M.; Freisinger-Schadow, S.; Heim H.-P.; Mihm, K.-M.; Dilger, K.; Böhm, S.; Wisner, G.: „Neue konstruktive Möglichkeiten im Betonbau durch Kleben von Bauteilen aus Ultra-Hochfestem Beton“. IGF Forschungsbericht, Nr. 00.235 Z / DVS-Nr.:08.001, DVS e. V., Düsseldorf, 2009.

- [8] Krelaus, R., Wisner, G., Freisinger-Schadow, S., Schmidt, M., Böhm, S., and Dilger, K., "Resistance of Adhesive Bonding of Ultra-High Performance Concrete to Hygrothermal, Corrosive, and Freeze-Thaw Cycling Environments," Journal of ASTM International, Vol. 6, No. 9, 2009, pp. 1–18, <http://dx.doi.org/10.1520/JAI101990>. – ISSN 1546-962X.
- [9] Mühlbauer, C.: „Fügen von Bauteilen aus ultrahochfestem Beton UHPC durch Verkleben", Dissertation, TU München, 2012.
- [10] Wisner, G.; Stammen, E.; Dilger, K.; Zillessen, A.; Brodel, M.: Neuartige Schnellklebebander für den Fertighausbau, Fortschrittsberichte der Materialforschung und Werkstofftechnik des Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (CZM) Bd. 1, zum 1. Niedersächsisches Symposium Materialtechnik, 12./13.02.2015, Clausthal-Zellerfeld, S. 289–298.
- [11] Wisner, G.; Zillessen, A.; Brodel, M.; Stammen, E.; Fischer, F.; Dilger, K.: "Adhesive Method for Rapidly Bonded Wood Panel Joints of Prefab House Construction Joints", Special Technical Paper STP 1583, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2015, p. 265–296.
- [12] DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen. Ausg. 9.2013. Berlin: Beuth Verlag.
- [13] DIN EN 408:2012-10: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. Ausg. 10.2012. Berlin: Beuth Verlag.

Autorenanschriften

Dipl.-Ing. Gregor Wisner

Technische Universität Braunschweig

Institut für Füge- und Schweißtechnik

Langer Kamp 8

38106 Braunschweig

Telefon: 0531-391-95509

Telefax: 0531-391-95599

E-Mail: g.wisner@tu-braunschweig.de

Prof. Dr.-Ing. Werner Seim

Universität Kassel

Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau

Kurt-Wolters Straße 3

34125 Kassel

Telefon: 0561-804-2625

Telefax: 0561-804-7647

E-Mail: wseim@uni-kassel.de

M. Sc. Malte Mérono

Fraunhofer Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)

Bienroder Weg 54E

38108 Braunschweig

Telefon: 0531-2155-354

Telefax: 0531-2155-907

E-Mail: malte.merono@wki.fraunhofer.de